

# 政府补贴下考虑时间窗的农产品电商供应链演化博弈分析

杨国旭, 台玉红

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2026年7月30日; 录用日期: 2026年8月13日; 发布日期: 2026年9月23日

## 摘要

针对农产品电商供应链时间窗约束下主体行为失范问题, 本文构建政府、农业合作社、线上销售平台三方演化博弈模型, 探究政府补贴、时间窗、惩罚机制等参数对主体策略演化的影响并做数值模拟。研究发现三方策略演化高度耦合, 政府补贴需精准设计, 市场与政府调控具有互补性。

## 关键词

政府补贴, 时间窗, 电商供应链, 演化博弈, 超窗腐损

# Evolutionary Game Analysis of Agricultural Product E-Commerce Supply Chain Considering Time Window under Government Subsidies

Guoxu Yang, Yuhong Tai

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: July 30, 2026; accepted: August 13, 2026; published: September 23, 2026

## Abstract

Aiming at the irregular subject behaviors in agricultural product e-commerce supply chains under time window constraints, this paper constructs a tripartite evolutionary game model of the government, agricultural cooperatives and online sales platforms, to explore the impacts of subsidies, time

文章引用: 杨国旭, 台玉红. 政府补贴下考虑时间窗的农产品电商供应链演化博弈分析[J]. 电子商务评论, 2026, 15(9): 785-794. DOI: 10.12677/ecl.2026.1591058

windows and other parameters on the evolutionary trends of subjects' strategies and conduct numerical simulations. The study shows that the evolutionary processes of the three parties' strategies are highly coupled; government subsidies demand precise design, and market regulation and government intervention are complementary.

## Keywords

Government Subsidies, Time Window, E-Commerce Supply Chain, Evolutionary Game, Over-Window Deterioration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

农产品供应链作为农村经济发展的核心载体,其高效流通与合规运作是实现乡村产业振兴、保障农产品市场供给的关键环节[1]。农产品物流体系作为连接农业生产端与消费市场端的关键纽带,对于保障食品供给、稳定市场价格发挥着不可替代的作用[2]。

农产品具有易腐性、鲜活性的固有特征[3],流通环节的时间窗约束[4]成为影响供应链效益的核心因素——农业合作社的交付延迟[5],农业合作社需在按时交付的合规成本与违规交付的腐损、索赔成本间抉择[6][7];线上销售平台的销售效率不足,线上销售平台被动销售的普遍问题[8],需在主动销售的补贴成本[9]与增量收益间博弈。合作社的交付延迟、违规交付,线上销售平台的被动销售均会导致农产品超窗腐损[10],造成供应链整体价值损耗,制约农产品流通体系高质量发展。政府作为供应链发展的引导者与调控者,需在补贴成本与供应链发展收益间权衡,通过补贴、税收减免等政策工具介入供应链治理[11],成为推动主体协同、降低流通损耗的重要外部驱动力,因此各级政府出台补贴政策促进物流体系建设。如连城县政府对参与本地农村产品上行的物流企业实施连续两年的单位快递物流补贴政策[12]。

现有关于农产品供应链的博弈研究,或单一关注政府补贴的调控作用。如政府提供的研发补贴与生产补贴对供应链的定价决策与利润分配具有明显的差异化影响,政府应根据供应链的发展阶段合理设置补贴强度[13]。三方博弈主体的策略选择受到多种因素的影响。制造业企业最终策略选择主要受到政府补贴力度、成本分担比例以及加入平台的成本和可能产生的信息泄露损失的影响[14]。部分文献侧重时间窗约束下的供应链协调,如 Fernando L [15]等就试图通过提出一个集成的分析框架来填补上述模型的空白,用于实时供应商评估和中断预测。李洁[16]等所提出的混合模型利用数据包络分析和时间卷积网络进行供应商效率评估,并预测延迟交付风险。时间窗口限制强化学习模型能够有效提供决策信息,帮助优化新鲜产品供应链运输与分销、控制物流成本以及减少碳排放[17]。

综合梳理上述文献可知,当前时间窗、农产品供应链演化博弈、政府补贴相关研究已形成一定的理论体系与实践成果,但时间窗研究场景适配性不足,与农产品供应链特性结合不够深入。现有时间窗研究大多集中于项目周期、车辆调度等非农产品领域,核心目标是减少时间成本、优化操作流程;少量文献涉及供应链领域,但主要聚焦于超市物流配送、普通商品报童问题等,未充分结合农产品易腐性、时效性强的核心特征,鲜有将政府补贴政策与农产品时间窗腐损特性结合,开展三方主体的演化博弈分析,也缺乏对关键参数影响主体策略演化路径的系统性探究。基于此,本文以政府、农业合作社、农产品线上销售平台为博弈主体,将农产品超窗腐损成本、索赔机制纳入分析框架,构建政府补贴下考虑时间窗

的农产品供应链三方演化博弈模型，推导三方主体的复制动态方程与演化稳定策略，探究补贴力度、时间窗参数、成本收益等关键因素对主体策略演化的影响机制，并通过数值模拟验证不同参数情景下的演化趋势，旨在为政府制定科学的农产品供应链补贴政策、引导供应链主体协同合作、提升农产品流通效率提供理论参考与实践依据。

## 2. 问题描述与模型构建

### 2.1. 问题描述

参与主体的策略决策选择：政府通过补贴政策推动供应链高效合规运作。政府的策略选择为补贴、不补贴，设  $x$  代表政府补贴的概率，则  $1-x$  代表政府不补贴的概率。农业合作社的策略选择为按时交付和违规交付。按时交付即农业合作社严格按照订单约定时间、数量、品质向平台完成货品交付；违规交付即延迟交付超出约定时间窗、品质不达标等。设  $x$  代表农户按时交付的概率，则  $1-x$  代表农户违规交付的概率。农产品线上销售平台的策略选择为主动销售、被动销售。主动销售时平台采取补贴措施、提供更详细技术服务等；被动销售则不采取补贴方案。 $z$  为零售商选择主动销售的概率， $1-z$  为零售商选择被动销售的概率。其中  $x, y, z \in [0, 1]$ 。

**(1) 政府。**设政府不补贴、农业合作社违规交付且线上销售平台被动销售时政府的税收收益为  $P$ ，政府选择补贴农业合作社及线上销售平台时将会获得补贴收益分别为  $M$ ，包括额外税收、上级表彰，政府声誉等。当政府选择补贴时，无论农业合作社是否按时履约，政府都会对合作社进行补贴，用以支持合作社对农产品进行标准化种植以及冷链预冷等，补贴为  $S$ 。若合作社选择按时交付，政府将再对合作社给予收益规模补贴  $\beta R$ ，包括物流补贴，其中  $\beta \in [0, 1]$ ，为政府对合作社的规模补贴力度。当政府选择补贴时，无论线上销售平台是否选择主动销售政府都会对平台实行税收减免政策，力度为  $\theta$ ，以此支持线上销售平台优化冷链配送流程。

**(2) 农业合作社。**当农业合作社违规交付且线上销售平台选择被动销售时农业合作社的经营收益为  $R$ 。经营收益主要指销售额。其入驻线上销售平台需要支付平台一定的佣金  $f$ ，可视为固定成本。线上销售平台为合作社提供销售服务，并向其收取一定的动态成本比例为合作社销售额的  $\alpha$ ，其中  $0 < \alpha < 1$ 。当农业合作社选择违规交付时的综合损失  $L_f$ ：包含两部分：① 超窗腐蚀成本  $\lambda * T_r * R$ ， $\lambda$  为农产品单位时间腐蚀率即因超窗导致的农产品品质劣变比例； $T_r$  为农业合作社超窗的时间。② 索赔金即农产品线上销售平台向农业合作社索赔的违约金，设为  $k * R$ ， $k$  为索赔比例。

**(3) 线上销售平台。**当线上销售平台选择主动销售会发放平台补贴，力度为  $\gamma$ ，以此增加销量，增幅为  $\delta$ 。当线上销售平台选择被动销售时会发生农产品“滞销囤积”产生超窗腐损成本  $\lambda * T_r * R$ （超期滞销的农产品直接腐损，损失对应比例利润）， $T_r$  为农产品线上销售平台货架期超窗时间即农产品线上销售平台未售罄导致农产品超货架期的天数。具体参数说明见表 1。

Table 1. Parameter descriptions

表 1. 参数说明

| 决策主体 | 参数      | 参数含义                        |
|------|---------|-----------------------------|
| 政府   | $x$     | 政府选择“补贴”的概率                 |
|      | $P$     | 政府不补贴合作社违规交付平台不主动销售时政府的税收收益 |
|      | $S$     | 政府对合作社的补贴                   |
|      | $\beta$ | 政府对合作社的规模补贴力度               |

续表

|        |           |                             |
|--------|-----------|-----------------------------|
|        | $\theta$  | 政府对平台的税收减免力度                |
|        | $M$       | 政府选择补贴政策时的额外收益              |
| 农业合作社  | $y$       | 农业合作社选择按时交付的概率              |
|        | $R$       | 合作社选择违规交付平台选择被动销售时的经营收益     |
|        | $\alpha$  | 合作社入驻线上销售平台需要支付的佣金          |
|        | $f$       | 合作社向线上销售平台支付的成本             |
|        | $\lambda$ | 因超窗导致的农产品品质劣变比例             |
|        | $T_f$     | 农业合作社超窗的时间                  |
|        | $k$       | 农产品线上销售平台向农业合作社索赔比例         |
| 线上销售平台 | $z$       | 平台选择主动销售的概率                 |
|        | $\alpha$  | 线上销售平台对农业合作社销售额的抽成比例        |
|        | $\gamma$  | 平台发放补贴力度, 不合作则 $\gamma = 0$ |
|        | $\delta$  | 平台发放补贴对销量的增幅                |
|        | $T_r$     | 农产品线上销售平台货架期超窗时间            |

2.2. 三方演化模型构建

根据演化博弈收益矩阵, 见表 2, 可计算出政府、合作社与线上销售平台在不同策略下的期望收益与平均收益, 进而可构建三方演化博弈的复制动态方程, 以进行均衡策略稳定性分析。

3. 模型分析

3.1. 复制动态方程

政府策略的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(x-1)(S - M + R\beta + Ra\theta + R\beta\delta z + RT_f\beta\lambda y + Ra\delta\theta z + RT_f\alpha\lambda\theta y) \quad (1)$$

合作社策略的复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = -Ry(y-1)(k + T_f\lambda - T_f\alpha\lambda + \delta kz + T_f\beta\lambda x) \quad (2)$$

平台策略的复制动态方程为:

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = Rz(1-z)(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + \delta k + T_r\delta\lambda - \delta ky - T_f\gamma\lambda y + \alpha\delta\theta x + T_fT_r\lambda^2 y) \quad (3)$$

3.2. 三方演化系统均衡分析

联立三者的复制动态方程, 可得政府、合作社与销售平台的复制动态方程系统为:

$$\begin{cases} F(x) = x(x-1)(S - M + R\beta + Ra\theta + R\beta\delta z + RT_f\beta\lambda y + Ra\delta\theta z + RT_f\alpha\lambda\theta y) \\ F(y) = -Ry(y-1)(k + T_f\lambda - T_f\alpha\lambda + \delta kz + T_f\beta\lambda x) \\ F(z) = Rz(1-z)(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + \delta k + T_r\delta\lambda - \delta ky - T_f\gamma\lambda y + \alpha\delta\theta x + T_fT_r\lambda^2 y) \end{cases}$$

**Table 2.** Payment matrix for the three-party evolutionary game  
**表 2.** 三方演化博弈支付矩阵

| 决策主体            |                 | 政府                                                                                                 |                                                                                                                                        |
|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                 | 不补贴 $(1-x)$                                                                                        | 补贴 $(x)$                                                                                                                               |
| 违规交付<br>$(1-y)$ | 被动销售<br>$(1-z)$ | $P$                                                                                                | $P+M-\beta R-S-\theta\alpha R$                                                                                                         |
|                 |                 | $(1-\alpha-k)R-f$                                                                                  | $(1-\alpha-k)R-f+\beta R+S$                                                                                                            |
|                 |                 | $(\alpha+k)R+f$                                                                                    | $(\alpha+k)R+f+\theta\alpha R$                                                                                                         |
|                 | 主动销售<br>$(z)$   | $P+Q$                                                                                              | $P+M+Q-\beta(1+\delta)R-S-\theta\alpha(1+\delta)R$                                                                                     |
| 合作社             | 线上销售平台          | $(1-\alpha-k)(1+\delta)R-f$                                                                        | $(1-\alpha-k)(1+\delta)R-f+\beta(1+\delta)R+S$                                                                                         |
|                 |                 | $(\alpha+k)(1+\delta)R+f$                                                                          | $(\alpha+k)(1+\delta)R+f+\lambda T_r(1+\delta)R$                                                                                       |
|                 |                 | $+\lambda T_r(1+\delta)R-\gamma(1+\delta)R$                                                        | $-\gamma(1+\delta)R+\theta\alpha(1+\delta)R$                                                                                           |
|                 | 被动销售<br>$(1-z)$ | $P+G$                                                                                              | $P+M+G-\beta(1+\lambda T_f)R-S-\theta\alpha(1+\lambda T_f)R$                                                                           |
|                 |                 | $(1-\alpha)(1+\lambda T_f)R-f$                                                                     | $(1-\alpha)(1+\lambda T_f)R-f+\beta(1+\lambda T_f)R+S$                                                                                 |
|                 |                 | $\alpha(1+\lambda T_f)R+f$                                                                         | $\alpha(1+\lambda T_f)R+f+\theta\alpha(1+\lambda T_f)R$                                                                                |
| 按时交付<br>$(y)$   |                 | $P+G+Q$                                                                                            | $P+M+G+Q-\beta(1+\delta+\lambda T_f)R-S-\theta\alpha(1+\delta+\lambda T_f)R$                                                           |
|                 | 主动销售<br>$(z)$   | $(1-\alpha)(1+\delta+\lambda T_f)R-f$                                                              | $(1-\alpha)(1+\delta+\lambda T_f)R-f+\beta(1+\delta+\lambda T_f)R+S$                                                                   |
|                 |                 | $\alpha(1+\delta+\lambda T_f)R+f+\lambda T_r(1+\delta+\lambda T_f)R-\gamma(1+\delta+\lambda T_f)R$ | $\alpha(1+\delta+\lambda T_f)R+f+\lambda T_r(1+\delta+\lambda T_f)R-\gamma(1+\delta+\lambda T_f)R+\theta\alpha(1+\delta+\lambda T_f)R$ |

多种群演化博弈中的稳定解为严格纳什均衡。需对三方演化博弈中的 8 个局部均衡点的稳定性进行分析。故需讨论  $E_1(0,0,0)$ ,  $E_2(0,0,1)$ ,  $E_3(0,1,0)$ ,  $E_4(0,1,1)$ ,  $E_5(1,0,0)$ ,  $E_6(1,0,1)$ ,  $E_7(1,1,0)$ ,  $E_8(1,1,1)$  的渐进稳定性。

系统的雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x\sigma_2 + (x-1)\sigma_2 & x(RT_f\beta\lambda + RT_f\alpha\lambda\theta)(x-1) & x(R\beta\delta + R\alpha\delta\theta)(x-1) \\ -RT_f\beta\lambda y(y-1) & -Ry\sigma_3 - R(y-1)\sigma_3 & -R\delta ky(y-1) \\ -R\alpha\delta\theta z(z-1) & Rz(z-1)(-T_fTr\lambda^2 + T_f\gamma\lambda + \delta k) & -Rz\sigma_1 - R(z-1)\sigma_1 \end{bmatrix}$$

where

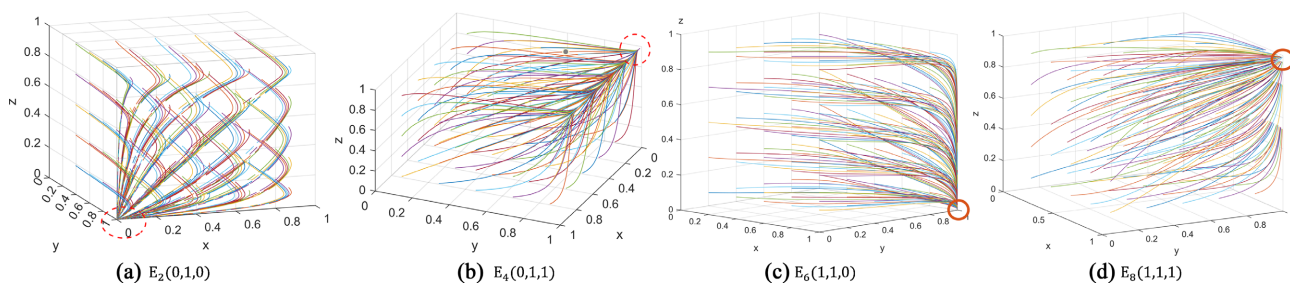
$$\begin{aligned} \sigma_1 &= T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + \delta k + T_r\delta\lambda - \delta ky - T_f\gamma\lambda y + \alpha\delta\theta x + T_fT_r\lambda^2 y \\ \sigma_2 &= H - M + S + R\beta + Ra\theta + R\beta\delta z + RT_f\beta\lambda y + Ra\delta\theta z + RT_f\alpha\lambda\theta y \\ \sigma_3 &= k + T_f\lambda - T_fa\lambda + \delta kz + T_f\beta\lambda x \end{aligned}$$

由于平衡点  $E_1(0,0,0)$ 、 $E_3(0,0,1)$ 、 $E_5(1,0,0)$ 、 $E_7(1,0,1)$ 、的特征值  $\lambda_{12}$ 、 $\lambda_{32}$ 、 $\lambda_{52}$ 、 $\lambda_{72}$  为正, 条件 1、条件 3、条件 5、条件 7、不满足稳定条件, 不为 ESS, 见表 3。因此考虑以下 4 种情形

**Table 3.** Eigenvalues of the Jacobian Matrix**表 3.** 雅克比矩阵的特征值

| 均衡点          | 特征值 $\lambda_{ij}$                                                                                                                 |                                                                                     |                                                                                                                                                     | 稳定条件 |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| $E_1(0,0,0)$ | $\lambda_{11} = M - S - R\beta - R\alpha\theta$                                                                                    | $\lambda_{12} = R(k + T_f\lambda - T_f\alpha\lambda)$                               | $\lambda_{13} = R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + \delta k + T_r\delta\lambda)$                                                 | 条件 1 |
| $E_2(0,1,0)$ | $\lambda_{21} = M - S - R\beta - R\alpha\theta - RT_f\beta\lambda - RT_f\alpha\lambda\theta$                                       | $\lambda_{22} = -R(k + T_f\lambda - T_f\alpha\lambda)$                              | $\lambda_{23} = R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\gamma\lambda + T_fT_r\lambda^2)$                       | 条件 2 |
| $E_3(0,0,1)$ | $\lambda_{31} = M - S - R\beta - R\beta\delta - R\alpha\theta - R\alpha\delta\theta$                                               | $\lambda_{32} = R(k + T_f\lambda + \delta k - T_f\alpha\lambda)$                    | $\lambda_{33} = -R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + \delta k + T_r\delta\lambda)$                                                | 条件 3 |
| $E_4(0,1,1)$ | $\lambda_{41} = M - S - R\beta - R\beta\delta - R\alpha\theta - RT_f\beta\lambda - R\alpha\delta\theta - RT_f\alpha\lambda\theta$  | $\lambda_{42} = -R(k + T_f\lambda + \delta k - T_f\alpha\lambda)$                   | $\lambda_{43} = -R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\gamma\lambda + T_fT_r\lambda^2)$                      | 条件 4 |
| $E_5(1,0,0)$ | $\lambda_{51} = S + R\beta + R\alpha\theta - M$                                                                                    | $\lambda_{52} = R(k + T_f\lambda - T_f\alpha\lambda + T_f\beta\lambda)$             | $\lambda_{53} = R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + \delta k + T_r\delta\lambda + \alpha\delta\theta)$                            | 条件 5 |
| $E_6(1,1,0)$ | $\lambda_{61} = -M + S + R\beta + R\alpha\theta + RT_f\beta\lambda + RT_f\alpha\lambda\theta$                                      | $\lambda_{62} = -R(k + T_f\lambda - T_f\alpha\lambda + T_f\beta\lambda)$            | $\lambda_{63} = R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\gamma\lambda + \alpha\delta\theta + T_fT_r\lambda^2)$  | 条件 6 |
| $E_7(1,0,1)$ | $\lambda_{71} = -M + S + R\beta + R\beta\delta + R\alpha\theta + R\alpha\delta\theta$                                              | $\lambda_{72} = R(k + T_f\lambda + \delta k - T_f\alpha\lambda + T_f\beta\lambda)$  | $\lambda_{73} = -R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + \delta k + T_r\delta\lambda + \alpha\delta\theta)$                           | 条件 7 |
| $E_8(1,1,1)$ | $\lambda_{81} = -M + S + R\beta + R\beta\delta + R\alpha\theta + RT_f\beta\lambda + R\alpha\delta\theta + RT_f\alpha\lambda\theta$ | $\lambda_{82} = -R(k + T_f\lambda + \delta k - T_f\alpha\lambda + T_f\beta\lambda)$ | $\lambda_{83} = -R(T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\gamma\lambda + \alpha\delta\theta + T_fT_r\lambda^2)$ | 条件 8 |

稳定条件 i:  $\lambda_{ij} < 0$ , ( $i = 2, 3, 4, \dots, 8; j = 1, 2, 3$ )

**Figure 1.** Evolutionary process of decision-making behaviors among the government, cooperatives, and online sales platforms**图 1.** 政府、合作社、线上销售平台的决策行为演化过程

情形 1: 当  $S = 0.1$ ;  $\theta = 0.02$ ;  $\lambda = 0.05$ ;  $\beta = 0.02$ ;  $\alpha = 0.1$ ;  $\gamma = 0.07$ ;  $\delta = 0.3$ ;  $R = 5$ ;  $T_r = 1$ ;  $T_f = 5$ ;  $M = 1$ ;  $k = 0.1$  时,  $M - S - R\beta - R\alpha\theta - RT_f\beta\lambda - RT_f\alpha\lambda\theta < 0$  且

$Tr\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\gamma\lambda + T_fT_r\lambda^2 < 0$  时, 点  $E_2(0,1,0)$  为演化稳定策略。如图 1(a) 所示此时政府选补贴的额外收益合作社选择合作的收益减去线上平台对合作社的抽成以及佣金小于合作社选择不合作时的收益小于政府对合作社和线上销售平台的补贴, 因此政府选择不补贴策略。线上销售平台发放补贴的增幅收益小于发放补贴金额, 线上销售平台选择不合作策略。而此时的合作社违规交付超窗时间较多, 因此合作社选择按时交付策略。这一系列条件的满足反映市场竞争和自主决策的结果。合作社和线上销售平台在市场条件下做出自主选择, 在没有政府补贴的情况下, 合作社由于超窗时间较多因此选择按时交

付, 不依赖于政府的补贴。

情形 2: 当  $S = 0.1$ ;  $\theta = 0.02$ ;  $\lambda = 1$ ;  $\beta = 0.02$ ;  $\alpha = 0.1$ ;  $\gamma = 0.03$ ;  $\delta = 0.3$ ;  $R = 5$ ;  $T_r = 2$ ;  $T_f = 2$ ;  $M = 0.2$ ;  $k = 0.1$  时,  $M - S - R\beta - R\beta\delta - R\alpha\theta - RT_f\beta\lambda - R\alpha\delta\theta - RT_f\alpha\lambda\theta < 0$  且  $T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\gamma\lambda + T_fT_r\lambda^2 > 0$  时点  $E_4(0,1,1)$  为演化稳定策略。如图 1(b)所示此时合作社选择合作的收益减去线上平台对合作社的抽成以及佣金大于合作社选择不合作时的收益, 因此合作社选择合作策略。政府对合作社的补贴收益小于政府对合作社的补贴、对线上销售平台的税收减免与合作社的规模补贴, 因此政府选择不补贴策略。线上销售平台发放消费券的成本小于发放消费券带来的佣金收益, 因此线上销售平台选择主动销售的策略。

情形 3: 当  $S = 0.1$ ;  $\theta = 0.02$ ;  $\lambda = 0.02$ ;  $\beta = 0.02$ ;  $\alpha = 0.08$ ;  $\gamma = 0.07$ ;  $\delta = 0.3$ ;  $R = 5$ ;  $T_r = 1$ ;  $T_f = 5$ ;  $M = 1$ ;  $k = 0.1$  时,  $M > S + R\beta + R\alpha\theta + RT_f\beta\lambda + RT_f\alpha\lambda\theta$  且  $T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\gamma\lambda + \alpha\delta\theta + T_fT_r\lambda^2 < 0$  时,  $E_6(1,1,0)$  为演化稳定策略。如图 1(c)所示此时合作社选择合作的收益减去线上平台对合作社的抽成以及佣金大于合作社选择不合作时的收益, 因此合作社选择合作策略。政府对合作社的补贴收益大于政府对合作社的补贴、对线上销售平台的税收减免与合作社的规模补贴, 因此政府选择补贴策略。线上销售平台发放消费券的成本小于发放消费券带来的佣金收益, 因此线上销售平台选择不合作策略。合作社和线上销售平台在市场条件下做出自主选择, 在有政府补贴的情况下, 由于线上销售平台收到的佣金较低且主动销售发放消费券带来的收益较低因此选择被动销售。

情形 4: 当  $S = 0.1$ ;  $\theta = 0.02$ ;  $\lambda = 0.02$ ;  $\beta = 0.02$ ;  $\alpha = 0.08$ ;  $\gamma = 0.07$ ;  $\delta = 0.3$ ;  $R = 5$ ;  $T_r = 1$ ;  $T_f = 5$ ;  $M = 1$ ;  $k = 0.1$  时,  $-M + S + R\beta + R\beta\delta + R\alpha\theta + RT_f\beta\lambda + R\alpha\delta\theta + RT_f\alpha\lambda\theta < 0$  且  $T_r\lambda - \gamma + \alpha\delta - \delta\gamma + T_r\delta\lambda - T_f\delta\lambda + \alpha\delta\theta + T_fT_r\lambda^2 > 0$  时,  $E_8(1,1,1)$  为演化稳定策略。如图 1(d)所示此时合作社选择合作的收益减去线上平台对合作社的抽成以及佣金大于合作社选择不合作时的收益, 因此合作社选择合作策略。政府对合作社的补贴收益大于政府对合作社的补贴、对线上销售平台的税收减免与合作社的规模补贴, 因此政府选择补贴策略。线上销售平台发放消费券的成本大于发放消费券带来的佣金收益, 因此线上销售平台选择不合作策略。

## 4. 数值模拟

参数取值同情形 4, 即  $E_8(1,1,1)$ , 政府补贴、合作社按时交付、平台主动销售。

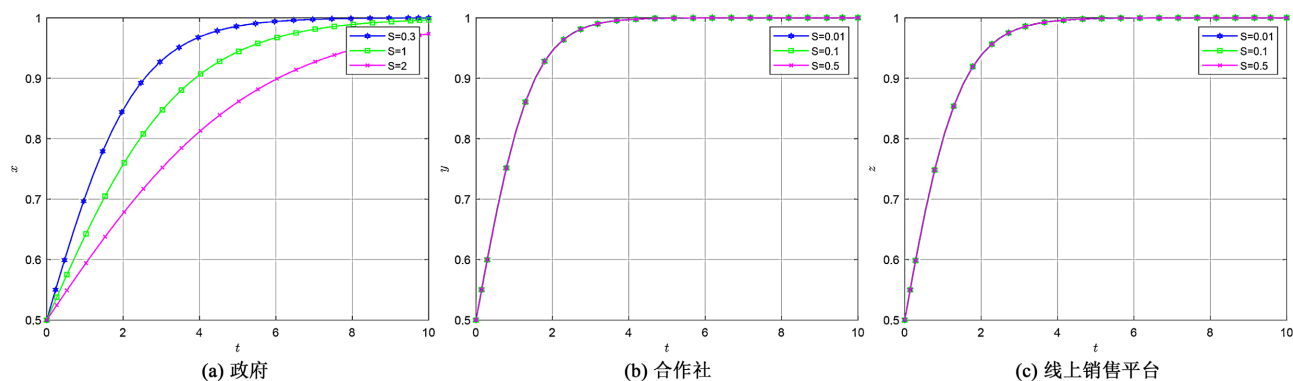
### 4.1. 政府补贴

为进一步探索政府补贴对政府、合作社、线上销售平台三方决策行为演化的影响, 通过数值模拟进行敏感性分析, 分别令  $s = 0.3, 1, 2$ ,  $\beta = 0.02, 0.05, 0.08$  结果如图 2、图 3 所示。其中横轴表示时间的变化, 纵轴表示政府选择“补贴”策略的概率、合作社选择按时交付及线上销售平台选择“主动销售”策略的概率。

由图可知, 政府补贴能激励合作社更愿意按时交付。补贴力度加大后, 合作社选择按时交付的速度并未明显提升, 说明补贴对其按时交付的激励作用不如平台佣金、超期额外成本等市场因素强。政府补贴虽能在一定程度上引导市场行为, 但各方最终决策仍取决于自身实际情况与策略选择。因此, 政府制定补贴政策时, 应结合市场主体行为与激励机制设计, 并根据市场变化灵活调整, 以更好推动合作社与线上销售平台发展, 助力乡村振兴和经济增长。

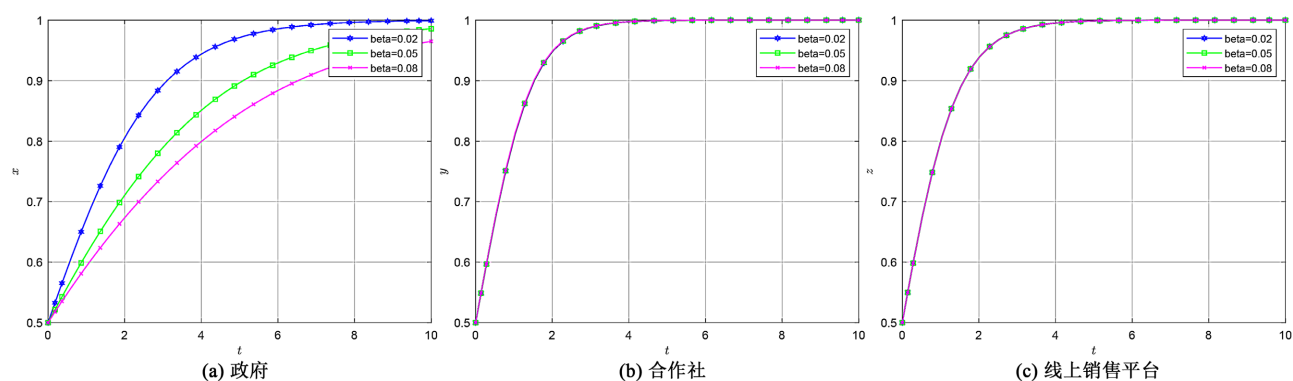
### 4.2. 合作社的投入

当合作社需要向线上销售平台支付的动态成本  $\alpha$  发生变化时也影响着博弈主体行为策略的演化。令  $\alpha$  为 0.05、0.2、0.3 结果如图 4 所示。



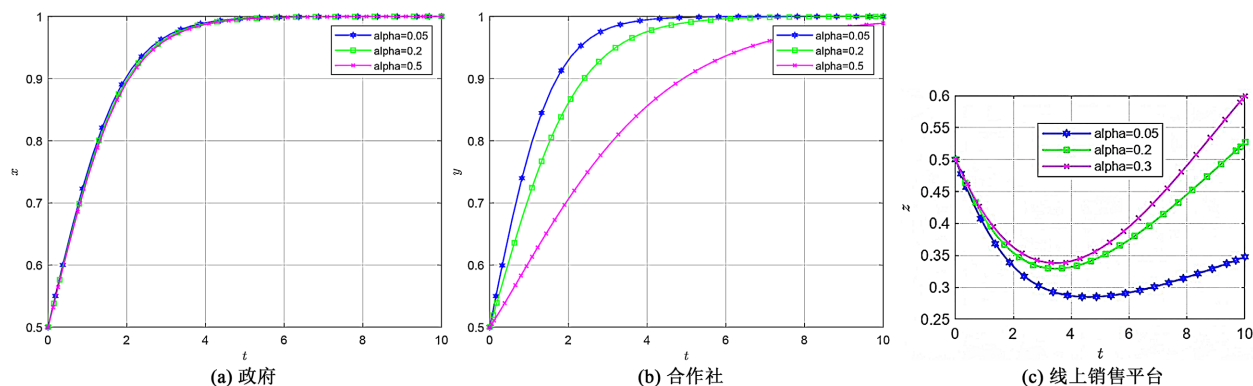
**Figure 2.** Sensitivity of parameter  $s$  to government, cooperatives, and online sales platforms

**图 2.** 政府、合作社、线上销售平台对参数  $s$  的敏感性



**Figure 3.** Sensitivity of parameter  $\beta$  to government policies, cooperatives, and online sales platforms

**图 3.** 政府、合作社、线上销售平台对参数  $\beta$  的敏感性



**Figure 4.** Sensitivity of parameter  $\alpha$  to government policies, cooperatives, and online sales platforms

**图 4.** 政府、合作社、线上销售平台对参数  $\alpha$  的敏感性

由图可知, 合作社向线上销售平台支付的佣金越高, 政府补贴的速度越慢, 合作社越不愿按时交付, 平台则更倾向主动销售。佣金较高时, 政府会暂缓补贴; 当合作社支付高佣金的意愿下降后, 政府再实施补贴, 收益能达到最大化。佣金成本持续增加, 会降低合作社按时交付的能力与意愿。平台处于供应链末端, 收益存在延迟, 其主动销售意愿先降后升; 且佣金越高, 意愿下降幅度越小、反弹力度越大。高佣金能促进平台参与合作, 但会降低政府和合作社的积极性, 这反映了不同市场主体对经济激励和风险的反应差异。

### 4.3. 时间窗的影响

为进一步探索时间窗对政府、合作社、线上销售平台三方决策行为演化的影响, 通过数值模拟进行敏感性分析, 分别令等于  $T_f = 1, 2, 5$ ,  $T_r = 1, 2, 5$  结果如图 5、图 6 所示。其中横轴表示时间的变化, 纵轴表示政府选择“补贴”策略的概率、合作社选择按时交付及线上销售平台选择“主动销售”策略的概率。

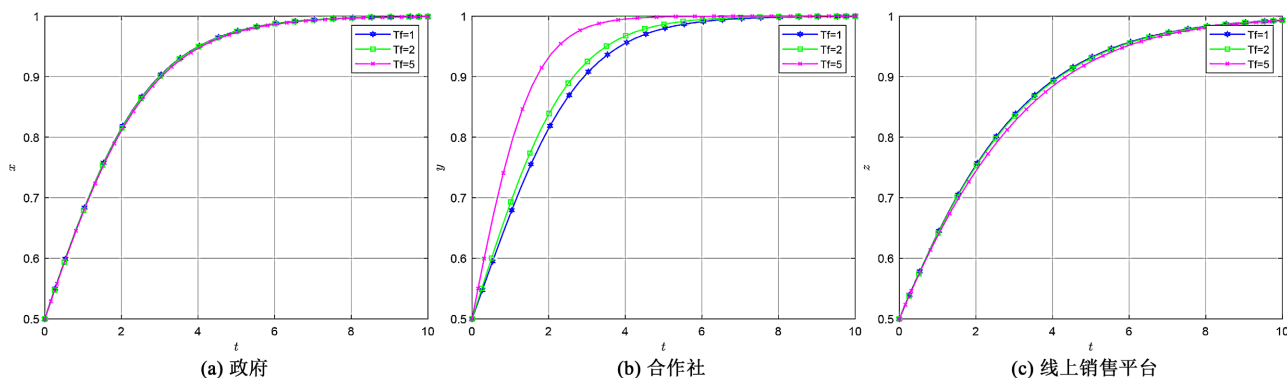


Figure 5. Sensitivity of parameter  $T_f$  to government policies, cooperatives, and online sales platforms

图 5. 政府、合作社、线上销售平台对参数  $T_f$  的敏感性

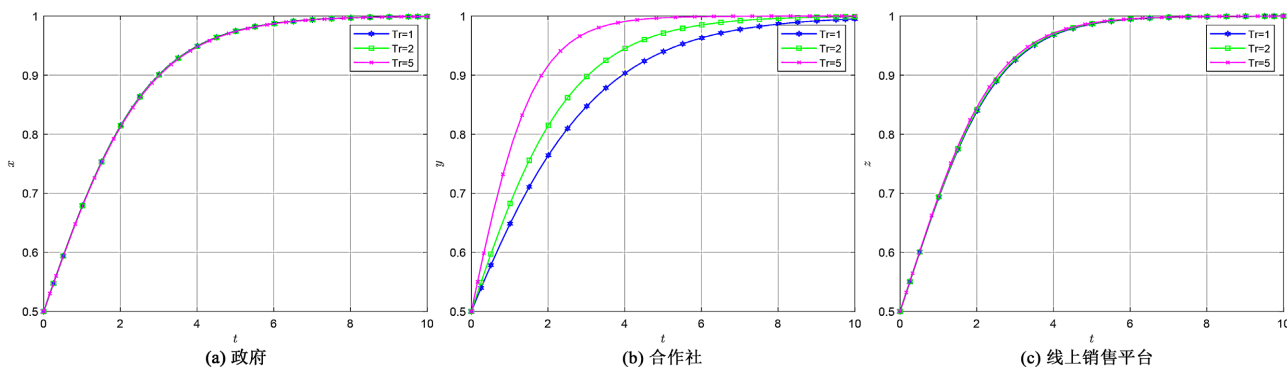


Figure 6. Sensitivity of parameter  $T_r$  to government policies, cooperatives, and online sales platforms

图 6. 政府、合作社、线上销售平台对参数  $T_r$  的敏感性

如图 6, 合作社超窗时间越长, 政府收益会略有下降, 因此政府补贴节奏会相应放缓。对合作社而言, 超窗时间越久, 额外成本和产品损耗越高, 收益大幅减少, 所以合作社更倾向按时交付。对线上销售平台而言, 超窗会导致产品质量下降, 若不采取措施损失会更大, 因此平台也会更主动地开展销售, 而非被动观望。超窗时间增加会降低供应链整体利润。由于政府不直接参与供应链利润分配, 超窗严重时出于经济考量, 其补贴速度会变慢。而作为市场主体, 合作社与平台都不希望超窗时间过长, 一旦超窗预期较高, 双方都会采取更积极的应对措施。

### 5. 结语

本文将时间窗腐损约束纳入农产品供应链分析, 构建政府、农业合作社、线上销售平台三方演化博弈模型, 分析政府补贴、时间窗参数、成本收益对演化趋势的影响, 经数值模拟验证, 得出核心结论:

- (1) 政府补贴参数调控效应差异化: 对合作社直接补贴、规模补贴越大, 政府补贴意愿越弱, 过高补

贴会让政府放弃补贴；平台税收减免力度越大，平台主动销售意愿越强，且不影响合作社决策。补贴额外收益覆盖成本，是政府稳定补贴的核心前提。

(2) 时间窗约束是关键内生因素，通过超窗时间与腐损率协同作用：合作社超窗时间、腐损率越高，成本与索赔成本越高，按时交付意愿越强，政府补贴积极性则降低；平台货架期超窗时间的影响随腐损率变化，满足收益覆盖成本时倾向主动销售，反之被动。

(3) 数值模拟验证：补贴需适度精准，过度补贴加重财政负担、降低合作社自主合规意愿；时间窗约束的市场约束力强于政府补贴，完善索赔机制、降低腐损率更能推动按时交付；合作社佣金比例需合理，过高会抑制合规意愿，损害供应链整体效益。

综上，三方策略演化受补贴、时间窗腐损、成本收益共同驱动。腐损成本与索赔是市场自发调节核心，政府补贴是有效补充，需匹配市场激励机制。政府应制定精准差异化补贴政策，完善市场约束，推动市场与政府协同，实现农产品供应链高效合规运作。

## 参考文献

- [1] 张征华, 张小英, 肖宇雄, 等. 绿色农业补贴对农民合作社绿色生产的影响研究[J/OL]. 中国农业资源与区划: 1-13. <https://link.cnki.net/urlid/11.3513.S.20260313.1014.003>, 2026-04-02.
- [2] 蒋云, 李巍. 跨境生鲜农产品供应链: 生产决策, 税收补贴与社会福利[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(12): 3587-3607.
- [3] 阮俊虎, 刘晨欢, 孙自来, 等. 中国农产品供应链数字化转型: 内涵特征、理论逻辑与实施路径[J]. 农业经济问题, 2025(8): 113-129.
- [4] Abushaega, M.M., Moshebah, O.Y., Hamzi, A. and Alghamdi, S.Y. (2025) Enhancing Supply Chain Resilience with Data Envelopment Analysis and Temporal Convolutional Networks for Supplier Efficiency and Late Delivery Risk Prediction. *Alexandria Engineering Journal*, **128**, 231-246. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.05.062>
- [5] 董航宇, 苏明明, 李碧晴, 等. 合作社带动农业文化遗产地空间更新的过程和机制研究——以内蒙古敖汉旱作农业系统为例[J]. 地理科学进展, 2025, 44(12): 2641-2653.
- [6] 高鑫雨, 姚佳辰, 刘华琼. 基于演化博弈的农超对接供应链协作机制[J]. 山东交通学院学报, 2026, 34(3): 20-31.
- [7] 李倩, 何丽娜, 李敏. 多主体协作下物流平台服务供应链低碳运输选择策略研究[J/OL]. 安全与环境学报, 1-14. <https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2025.1483>, 2026-04-02.
- [8] 夏文汇, 王涓. 考虑销售努力和运输时间的农产品供应链弹性契约[J]. 包装工程, 2023, 44(15): 168-174.
- [9] 魏杰, 姜云超. 考虑供应商保鲜努力的生鲜电商销售模式选择[J]. 控制与决策, 2024, 39(3): 1030-1038.
- [10] 浦徐进, 李素馨, 吴雪艳. 零售商自营还是零售商外包? 生鲜农产品供应链预冷保鲜模式选择及协调[J/OL]. 中国管理科学: 1-22. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2024.1221>, 2026-04-02.
- [11] 邓杰, 王宇. 基于零售商销售努力的风险和模糊规避报童模型研究[J]. 管理工程学报, 2023, 37(3): 118-128.
- [12] 王旭坪, 王悦, 李娅, 等. 果蔬采后分级和预冷车辆协同调度模型与算法[J]. 系统管理学报, 2024, 33(1): 76-89.
- [13] 周晓阳, 赵凡, 刘莹, 等. 政府补贴和成本共担如何影响平台和企业策略选择-基于三方演化博弈[J]. 控制与决策, 2022, 37(2): 293-302.
- [14] 张芳, 王佳兴. 政府补贴下应用区块链的有机农产品供应链决策[J]. 辽宁工程技术大学学报(社会科学版), 2024, 26(3): 214-222.
- [15] Lejarza, F., Pistikopoulos, I. and Baldea, M. (2021) A Scalable Real-Time Solution Strategy for Supply Chain Management of Fresh Produce: A Mexico-to-United States Cross Border Study. *International Journal of Production Economics*, **240**, Article ID: 108212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108212>
- [16] 李洁, 李林森. 面向时间窗约束的无人机群绿色协同配送机制[J/OL]. 计算机工程: 1-11. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.00252616>, 2026-04-02.
- [17] Zou, Y.S., Gao, Q.X., Wu, H. and Liu, N.B. (2024) Carbon-Efficient Scheduling in Fresh Food Supply Chains with a Time-Window-Constrained Deep Reinforcement Learning Model. *Sensors*, **24**, Article 7461. <https://doi.org/10.3390/s24237461>